



Penentu Kecepatan Dan Percepatan Benda Berbasis Mikrokontroler Arduino Pada Percobaan Benda Menggelinding Pada Bidang Miring

Speed Measurement And Acceleration Of Arduino-Based Microcontroller On Objects Roll In The Incline Plane

Elisa Sesa^{*)}, M. Syahrul Ulum, Dedy Farhamsa dan Samsul

Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Universitas Tadulako
Jl. Soekarno-Hatta Km 9 Palu 94111

ABSTRACT

In this research, an instrument has been created that can automatically measure the speed and acceleration of rolling objects in the incline plane. Stages of this research started from the manufacture of mechanical systems, built the optical sensor circuits, and circuit of LCD-Arduino Uno. Furthermore, the test programs and major programs are created. The final stage is testing tools and data retrieval. This tool has been operating well, however has not given the expected results as theoretically calculated that the velocity value gives a relative error value of 21% - 50% against the theoretically calculated value of velocity. On the other hand the relative error value of acceleration for inclination angles of 5°, 10°, and 15° are 9.67% - 35.48%, 8.87% - 20.16%, and 19.20% - 25.54%, respectively. The causes of this higher relative error potentially due to the air friction, rolling object irregularity, unevenness of the rolling plane and for theoretical calculations still use an unreal value of gravity acceleration at the experimental site of 10 m/s².

Keywords: *speed, acceleration, acceleration of earth gravity, Arduino Uno.*

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dibuat suatu instrumen yang secara otomatis dapat mengukur kecepatan dan percepatan benda menggelinding pada bidang miring. Tahapan penelitian ini dimulai dari pembuatan sistem mekanik, rangkaian sensor optik, dan rangkaian LCD-Arduino Uno. Selanjutnya dilakukan pembuatan program uji dan program utama. Tahap akhir adalah pengujian alat dan pengambilan data. Alat ini telah beroperasi dengan baik namun belum memberikan hasil yang diharapkan sesuai perhitungan secara teori yakni nilai kecepatan memberikan nilai kesalahan relatif sebesar 21% - 50% terhadap nilai kecepatan teoritis. Di lain pihak nilai kesalahan relatif percepatan untuk sudut kemiringan bidang gelinding 5°, 10°, dan 15° berturut-turut adalah 9,67% - 35,48%, 8,87% - 20,16%, dan 19,20% - 25,54%. Penyebab tingginya kesalahan relatif ini sangat potensial disebabkan oleh gesekan udara, ketidakbulatan benda gelinding, dan ketidakrataan bidang gelinding serta untuk perhitungan teoritis masih menggunakan percepatan gravitasi bumi yang tidak riil pada tempat percobaan yakni sebesar 10 m/s².

Kata kunci: *kecepatan, percepatan, percepatan gravitasi bumi, Arduino Uno.*

Corresponding Author : elisa.sesa@uon.edu.au (ph/fax: +62-821 4591 8855)

LATAR BELAKANG

Mikrokontroler merupakan sebuah chip atau IC yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronika. Di dalam mikrokontroler terdapat sebuah prosesor dan flash memori yang dapat dibaca/tulis sampai 1000 kali, sehingga biaya pengembangannya menjadi murah karena program dapat dihapus kemudian diisi kembali dengan program lainnya sesuai kebutuhan. Mikrokontroler umumnya terdiri dari CPU (Central Processing Unit), memori Input atau Output tertentu dan unit pendukung seperti pengubah analog ke di digital (Analog To Digital Converter, ADC) yang sudah terintegrasi di dalamnya.

Pemanfaatan mikrokontroler sangat perlu untuk alat-alat percobaan yang membutuhkan ketelitian dan keakuratan pengukuran yang tinggi. Salah satu percobaan untuk menerapkan kontrol ini adalah pada alat percobaan benda menggelinding pada bidang miring (Sumah, 1994). Alat ini telah dimodifikasi untuk penentuan percepatan gravitasi bumi di tempat percobaan (Sesa, 2006). Alat yang dimodifikasi tersebut masih menggunakan komputer sebagai pengendali alat dan penampil data. Selanjutnya alat tersebut dikembangkan terus dengan menggunakan mikrokontroler yang menggantikan posisi komputer (Sesa, dkk, 2017). Penggunaan mikrokontroler selain

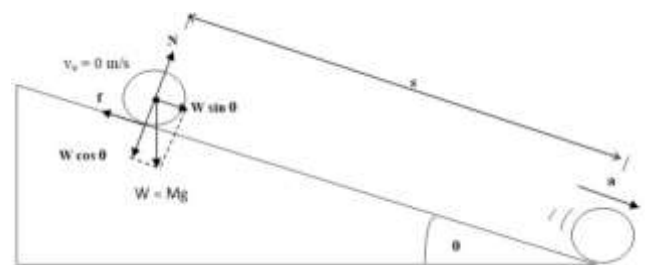
praktis, komponen ini ringan dan tidak menggunakan tempat yang luas. Dengan demikian alat menjadi mudah dipindahkan dan dioperasikan di mana saja.

Hal yang menarik dalam percobaan benda menggelinding (Gambar 1) adalah bahwa secara perhitungan matematis percepatan dari benda yang menggelinding adalah konstan yaitu:

$$a = \frac{5}{7}g \sin \theta \quad 1)$$

dengan a , g dan θ secara berturut-turut adalah percepatan benda, percepatan gravitasi bumi, dan sudut kemiringan bidang.

Dalam penelitian ini dipaparkan suatu instrumen yang dapat menentukan kecepatan benda pada beberapa titik dalam lintasan gelinding benda dan waktu tempuh dari suatu titik ke titik lainnya. Dengan demikian percepatan dari benda yang menggelinding dapat ditentukan dengan mudah melalui persamaan fisika sederhana (Samsul, 2015).

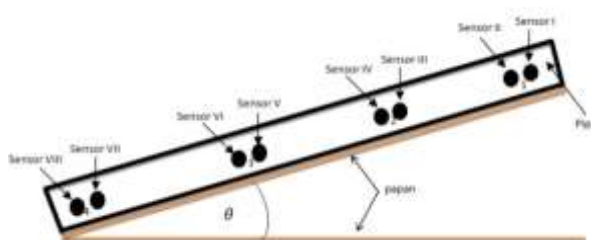


Gambar 1. Benda menggelinding pada bidang miring (Resnick, 1999).

BAHAN DAN METODE

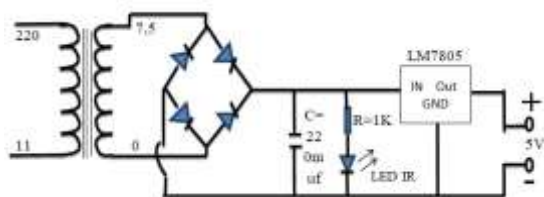
Sistem mekanik ini dirancang sedemikian agar bidang miring (bidang

gelinding) dapat digerakan naik turun dengan mudah dan pelan pada salah satu ujungnya. Pada bidang gelinding akan dilengkapi dengan lintasan berupa selokan. Hal ini bertujuan untuk mengarahkan benda (bola kecil) dapat bergerak dalam suatu lintasan yang lurus. Skematik dari sistem mekanik alat ini seperti tampak pada Gambar 2.



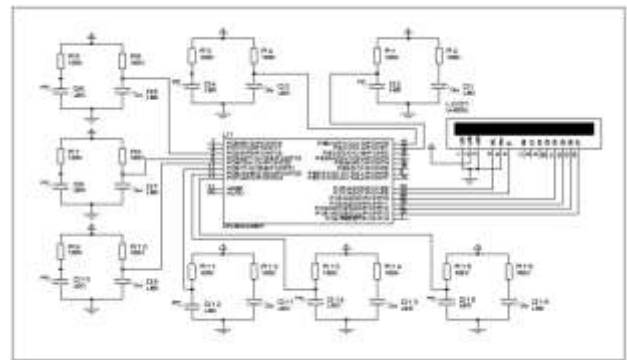
Gambar 2. Skematik penentu kecepatan dan percepatan pada bidang miring (Samsul, 2015).

Untuk sistem elektronik ini dibuat catu daya dengan keluaran 5 Volt dengan skematik rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Selain itu dibuat delapan buah rangkaian sensor optik yang menggunakan LED inframerah sebagai pemancar dan fotodiode inframerah sebagai penerima. Semua rangkaian sensor ini dipasang pada lintasan yang ada pada bagian mekanik. Setiap rangkaian sensor dihubungkan ke mikrokontroler sebagai pengendali, dan

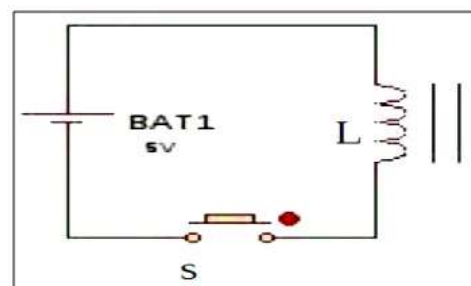


Gambar 3. Skematik catu daya alat dengan tegangan keluaran 5 Volt (Samsul, 2015).

rangkaian untuk LCD 16x4 sebagai display atau tampilan (Gambar 4). Sebagai pelepas bola secara magnetik dibuat rangkaian saklar magnetik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Skematik keseluruhan dari alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.

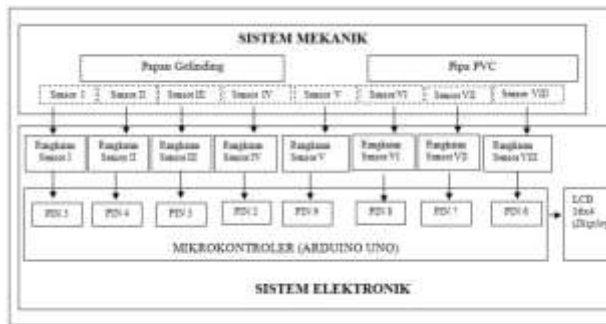


Gambar 4. Skematik rangkaian sensor dan LCD dengan mikrokontroler ATmega328P pada papan rangkaian Arduino Uno (Samsul, 2015).



Gambar 5. Skematik rangkaian pelepas bola besi dengan saklar magnet (Samsul, 2015).

Program pengendali dan pengolahan data pada mikrokontroler dibuat dengan menggunakan open-source software Arduino IDE yang memudahkan penulisan kode dan mengunggahnya ke mikrokontroler ATmega328P pada papan Arduino. Program tersebut berbasis pada program Java.



Gambar 6. Skematik alat secara keseluruhan (Samsul, 2015).

Program akan mengontrol dan mencatat waktu ketika sensor terhalang oleh bola besi yang menggelinding pada lintasan. Kecepatan sesaat dari bola besi dapat ditentukan dari jarak antara dua pasangan sensor dibagi dengan selisih waktu yang tercatat antara kedua rangkaian sensor. Dengan demikian percepatan dapat ditentukan. Selain itu, percepatan dapat dikalkulasi dengan menggunakan data sudut (θ) kemiringan dan percepatan gravitasi bumi sesuai persamaan 1. Dengan bantuan mikrokontroler besaran-besaran tersebut dapat ditampilkan pada LCD.

HASIL

Gambar 7 memperlihatkan mekanik dari alat yang telah dibuat. Pada bagian ini dipasang saluran dari pipa PVC sebagai tempat menggelindingnya bola besi. Hal ini bertujuan untuk mengarahkan bola besi agar dapat bergerak dalam suatu lintasan yang lurus. Panjang lintasan sebesar 120 cm dan diujung lintasan terdapat kotak penahan jatuhnya bola.

Pada Gambar 8 tampak susunan pasangan sensor yang terdiri dari LED inframerah sebagai pemancar dan fotodiode sebagai penerima. Susunan harus dibuat selang-seling sehingga cahaya yang diberikan LED inframerah hanya diterima oleh fotodiode di depannya. Pada penelitian ini, jarak antara pemancar (A) dan penerima (B) adalah 1 cm.



Gambar 7. Bagian mekanik dari alat



Gambar 8. Posisi dan jarak sensor optik

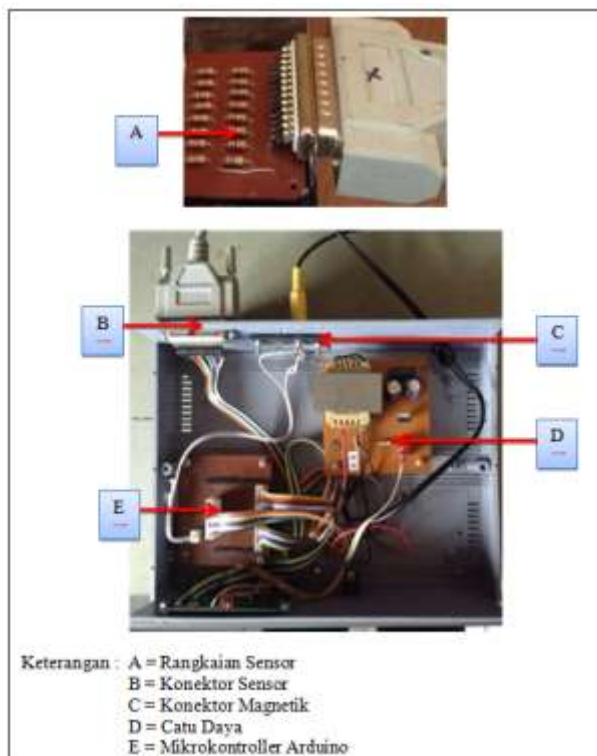


Gambar 9. Busur derajat dipasang pada bagian mekanik untuk penentuan sudut kemiringan

Busur derajat dengan nilai skala terkecil (NST) 1° dipasang untuk menentukan kemiringan bidang gelinding seperti yang terlihat pada Gambar 9. Kemiringan bidang gelinding maksimum yang dapat dicapai oleh alat yang dibuat ini

hanya 15°. Dalam percobaan manual, sudut ini masih ideal untuk gerakan rotasi sempurna dari benda yang digelindingkan atau tidak terjadi slip pada gerakan benda.

Rangkaian sistem elektronik alat secara keseluruhan diperlihatkan pada Gambar 10 dimana terdapat rangkaian sensor optik 1 sampai 8. Sinyal dari masing-masing rangkaian sensor merupakan input dari pin digital Arduino yaitu pin 2 sampai pin 9. Pada bagian belakang box rangkaian terdapat port DB 25 untuk sambungan magnet listrik dan saklar sebagai pemutus sambungan arus listrik.



Gambar 10. Rangkaian elektronik dari alat yang ditempatkan dalam suatu kotak rangkaian dan sebagian diluar kotak rangkaian (bagian A).

Sebelum kelereng digunakan, harus diperiksa kelayakannya. Tabel 1 menampilkan data diameter dari bola besi

yang digunakan. Data tersebut menunjukkan bahwa bola besi yang digunakan tidak bulat sempurna dengan ketidakpastian pada pengukuran (KTPR) sebesar 0,75% untuk bola besi I dan sebesar 1,80% untuk bola besi II. Berdasarkan nilai KTPR yang lebih kecil dari 5,00%, kedua bola besi tersebut layak digunakan dalam pengujian dan pengambilan data alat. Sementara itu, Tabel 2 memperlihatkan data waktu rata-rata, kecepatan rata-rata dan percepatan rata-rata benda yang menggelinding pada bidang miring.

Tabel 1. Data pengukuran diameter bola besi yang dipakai dalam pengambilan data

No	Diameter Bola (mm)	
	Bola I	Bola II
1	16,10	21,31
2	16,14	21,42
3	16,12	21,37
4	16,14	21,40
5	16,15	21,38
6	16,10	21,36
7	16,11	21,42
8	16,10	21,41
9	16,11	21,40
10	16,12	21,43
Rata-rata	16,12	21,39
Error	0,75%	1,85%

PEMBAHASAN

Berdasarkan penentuan nilai kecepatan dan percepatan yang diperoleh pada hasil penelitian, ada dua hal yang sangat menarik untuk dibahas. Yang pertama, perbandingan kecepatan yang diperoleh dalam penelitian ini dengan perhitungan kecepatan dengan menggunakan hukum kekekalan energi. Hal yang kedua adalah adanya

keberagaman nilai percepatan yang diperoleh dalam percobaan dimana secara teori nilai percepatan tersebut seharusnya konstan sebagaimana yang diperlihatkan pada Persamaan 1.

Secara teoritis, berdasarkan Hukum Kekekalan Energi Mekanik, penentuan kecepatan di suatu titik dalam lintasan pada bidang gelinding dapat diturunkan secara rinci. Energi mekanik (EM) atau energi total yang dimiliki oleh suatu benda bergerak pada berbagai kedudukan adalah konstan.

EM = Energi kinetik (E_k) + Energi potensial (E_p) = konstan

2)

Pada benda menggelinding pada bidang miring terdapat dua gerak yaitu gerak translasi $E_{k,trans}$ dan gerak rotasi $E_{k,rot}$, sehingga:

$$E_{k,trans} + E_{k,rot} + E_p = \text{konstan} \quad 3)$$

Dengan demikian dapat dituliskan,

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 + mgh = \text{konstan} \quad 4)$$

dengan m = massa, v = kecepatan linier, I = momen inersia, g = percepatan gravitasi bumi, and h = ketinggian.

Untuk kelereng (bola pejal), momen inersia $I = \frac{2}{5}mR^2$ dan $\omega = v/R$ (R = jari-jari kelereng). Dengan memasukkan nilai I dan ω pada persamaan 4, diperoleh:

$$\frac{7}{10}mv^2 + mgh = \text{konstan} \quad 5)$$

Jika benda tidak mengalami perubahan massa dalam pergerakannya maka persamaan terakhir dapat dituliskan menjadi

$$v^2 + \frac{10}{7}gh = \text{konstan} \quad 6)$$

Dengan menggunakan Persamaan 6, kecepatan benda yang menggelinding pada titik tertentu dapat ditentukan dengan syarat benda dilepas tanpa kecepatan awal atau $v_0 = 0$ m/s. Sebagai contoh, dengan menggunakan Gambar 11, kecepatan benda di titik 1 dapat ditentukan dengan menghubungkannya dengan keadaan awal di titik 0.

$$(v_0)^2 + \frac{10}{7}gh_0 = (v_1)^2 + \frac{10}{7}gh_1$$

atau

$$(0)^2 + \frac{10}{7}gh_0 = (v_1)^2 + \frac{10}{7}gh_1$$

$$(v_1)^2 = \frac{10}{7}g(h_0 - h_1) \text{ atau } v_1 = \sqrt{\frac{10}{7}g(h_0 - h_1)}$$

Dari Gambar 11, besar h_0 dan h_1 dapat ditentukan sebagai berikut:

$$h_0 = L_0 \sin \theta \quad 8)$$

dan

$$h_1 = L_1 \sin \theta \quad 9)$$

dengan L_0 , L_1 , dan θ berturut-turut adalah posisi titik 0 dari ujung bawah, posisi titik 1 dari ujung bawah dan sudut kemiringan dari bidang. Dengan demikian

$$h_0 - h_1 = (L_0 - L_1) \sin \theta \quad (10)$$

Suku $(L_0 - L_1)$ tidak adalah jarak titik 1 dari titik 0 (titik pelepasan benda yang digelindingkan) atau S_1 dalam Gambar 11, sehingga dapat dituliskan:

$$v_1 = \sqrt{\frac{10}{7}gS_1 \sin \theta} \quad (11)$$

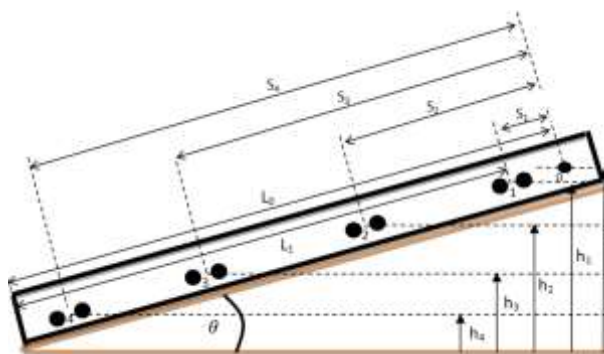
Jadi, dengan mengetahui jarak titik tempat penentuan kecepatan dari titik 0, kecepatan di titik tersebut dapat ditentukan. Dengan demikian dapat dituliskan:

$$v_2 = \sqrt{\frac{10}{7}gS_2 \sin \theta} \quad (12)$$

$$v_3 = \sqrt{\frac{10}{7}gS_3 \sin \theta} \quad (13)$$

dan

$$v_4 = \sqrt{\frac{10}{7}gS_4 \sin \theta} \quad (14)$$



Gambar 11. Komponen jarak dari titik awal dan ketinggian yang dibutuhkan dalam penentuan kecepatan benda berdasarkan hukum kekekalan energi.

Hal yang menarik dari Persamaan 11 - 14 di atas adalah besar kecepatan tidak bergantung pada massa benda atau ukuran

benda namun sangat bergantung pada sudut kemiringan bidang gelinding, posisi benda, dan besar percepatan gravitasi bumi di tempat pengoperasian alat. Hal ini diperlihatkan oleh data penentuan kecepatan dengan alat pada Tabel 3. Nilai kecepatan untuk sudut yang sama namun benda berbeda diameter memberikan nilai yang relatif sama.

Pada Tabel 3 juga terlihat bahwa nilai kesalahan relatif antara kecepatan yang diperoleh dengan alat dengan nilai kecepatan yang diperoleh secara teoritis masih sangat besar. Nilai kesalahan relatif ini bervariasi antara 5% -42%. Nilai kesalahan terbesar umumnya diperoleh untuk kecepatan pada posisi 1 (v_1) dan cenderung menurun untuk kecepatan pada posisi selanjutnya.

Ada beberapa hal yang potensial dapat menyebabkan besarnya nilai kesalahan relatif tersebut, yakni:

- Hukum kekekalan energi mekanik sangat ideal yakni tidak memperhitungkan adanya pengaruh gesekan udara terhadap benda dan gesekan benda dengan bidang gelinding. Kedua gesekan ini akan memperlambat benda bergerak sehingga waktu tempuh lebih lama dan menyebabkan kecepatan mengecil.
- Bola tidak bulat sempurna seperti yang ditunjukkan oleh nilai ketidakpastian relatif pada pengukuran (KTPR) pada

Tabel 1. Bola tidak bulat membuat gerakan bola tidak mulus atau gerakannya melambat dan menghasilkan kecepatan yang kecil.

- c) Hal yang memungkinkan lainnya namun tidak diteliti dalam penelitian ini adalah permukaan bidang gelinding yang tidak rata. Hal ini akan menyebabkan benda tidak menggelinding sempurna dan menghambat gerakan benda. Jika hal itu terjadi maka waktu tempuh semakin lama dan menyebabkan kecepatan semakin kecil.
- d) Perhitungan kecepatan secara teoritis menggunakan nilai percepatan gravitasi bumi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$. Hal ini tentu akan memberikan nilai kecepatan yang sedikit lebih kecil jika menggunakan nilai percepatan gravitasi bumi yang lebih kecil.

Sebagai mana yang telah disebutkan sebelumnya bahwa secara teoritis percepatan benda menuruni bidang gelinding seharusnya konstan dan tidak dipengaruhi oleh massa benda. Nilai percepatan hanya tergantung pada besar sudut bidang gelinding dan percepatan gravitasi bumi pada tempat pengoperasian alat. Berdasarkan Persamaan 1, nilai percepatan kelereng tanpa mempedulikan ukuran atau massanya untuk sudut 5° , 10° dan 15° serta dengan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ berturut-

turut adalah $0,61 \text{ m/s}^2$, $1,21 \text{ m/s}^2$, dan $1,75 \text{ m/s}^2$.

Pada Tabel 2 memperlihatkan adanya ketidaksamaan nilai percepatan kelereng untuk sudut yang sama. Nilai percepatan pada bagian daerah ujung bidang gelinding selalu lebih besar dari nilai percepatan pada bagian awal bidang gelinding. Besar kesalahan relatif nilai percepatan sudut 5° , 10° dan 15° ini terhadap perhitungan secara teoritis berturut-turut adalah 8.1% - 34,4%, 11,5 % - 18,2 %, dan 14,8% - 32%.

Hal yang sama diperlihatkan bahwa untuk kelereng yang berbeda diameter dan sudut kemiringan bidang gelinding yang sama dan seharusnya memberikan nilai percepatan yang sama pula. Diameter kelereng tidak berpengaruh pada percepatan benda atau dengan kata lain massa kelereng tidak mempengaruhi nilai pecepatan untuk sudut bidang gelinding yang sama. Pada Tabel 2, untuk sudut bidang gelinding 5° dan 10° memberikan nilai yang relatif sama untuk kedua benda namun perbedaan cukup signifikan pada sudut bidang gelinding 15° . Walaupun demikian seharusnya nilai percepatan baik pada daerah awal pergerakan maupun pada daerah akhir pergerakan pada sudut bidang gelinding yang sama seharusnya memberikan nilai yang sama pula untuk kedua kelereng dengan diameter berbeda tersebut.

Tabel 2. Data waktu rata-rata ($\bar{\Delta t}$), kecepatan sesaat rata-rata (\bar{v}) hasil pengambilan dan pengolahan data dengan alat untuk masing-masing bola pada sudut yang berbeda-beda. Percepatan (\bar{a}) dihitung sebagai selisih kecepatan dibagi selisih waktu.

BOLA	SUDUT (°)	NILAI RATA- RATA			
		Posisi	$\bar{\Delta t}$ (mili s)	\bar{v} (m/s)	\bar{a} (m/s ²)
I	5	1	94,5	0,11	0,40
		2	23,4	0,43	
		3	13,0	0,77	0,56
		4	10,8	0,93	
	10	1	61,3	0,16	0,99
		2	16,1	0,68	
		3	8,1	1,24	1,35
		4	6,8	1,48	
	15	1	50,0	0,20	1,49
		2	12,1	0,83	
		3	6,7	1,50	2,31
		4	5,5	1,84	
II	5	1	110,2	0,09	0,43
		2	22,7	0,44	
		3	12,4	0,81	0,54
		4	10,5	0,96	
	10	1	73,9	0,14	1,00
		2	14,7	0,68	
		3	8,4	1,19	1,44
		4	6,9	1,45	
	15	1	60,6	0,16	1,53
		2	11,9	0,84	
		3	7,1	1,41	2,90
		4	5,5	1,84	

Perbedaan ini dapat disebabkan oleh hal yang sama seperti yang dikemukakan pada penentuan kecepatan benda menggelinding. Efek gaya gesekan udara (fluida) pada benda untuk daerah awal pergerakan benda sangat signifikan dibandingkan dengan efeknya untuk daerah ujung pergerakan benda dimana benda sudah mengalami percepatan yang relatif konstan. Hal ini menyebabkan nilai percepatan di awal pergerakan lebih kecil dibandingkan dengan nilai percepatan pada

daerah ujung (akhir) pergerakan benda (Resnick, 1999).

Tabel 3. Perbandingan nilai kecepatan dengan hasil penentuan kecepatan dengan alat dengan nilai kecepatan berdasarkan hukum kekekalan energi (teori).

BOLA	SUDUT (°)	Kecepatan bola (m/s)				Error (%)
		Pengukuran	Teori	Δ		
I	5	v ₁	0,11	0,17	0,06	35
		v ₂	0,43	0,57	0,14	24
		v ₃	0,77	0,97	0,2	20
		v ₄	0,93	1,16	0,23	19
	10	v ₁	0,16	0,17	0,54	5
		v ₂	0,68	0,81	0,13	16
		v ₃	1,24	1,37	0,13	9
		v ₄	1,48	1,63	0,15	9
	15	v ₁	0,20	0,18	0,02	11
		v ₂	0,83	0,97	0,14	14
		v ₃	1,50	1,64	0,17	10
		v ₄	1,84	1,96	0,12	6
II	5	v ₁	0,09	0,17	0,08	47
		v ₂	0,44	0,57	0,13	22
		v ₃	0,81	0,97	0,16	16
		v ₄	0,96	1,16	0,2	17
	10	v ₁	0,14	0,17	0,03	17
		v ₂	0,68	0,81	0,13	16
		v ₃	1,19	1,37	0,18	13
		v ₄	1,45	1,63	0,18	11
	15	v ₁	0,16	0,18	0,02	11
		v ₂	0,84	0,97	0,13	13
		v ₃	1,41	1,64	0,23	14
		v ₄	1,84	1,96	0,12	6

Demikian halnya ketidakbulatan benda berpengaruh pada besarnya percepatan benda yang menggelinding. Jika benda tidak bulat sempurna mengakibatkan gerakan di awal lebih tersendat dan efeknya berkurang jika benda sudah mengalami percepatan yang relatif konstan. Hal yang sama bidang gelinding yang kurang rata akan menghambat pergerakan benda. Efeknya sangat signifikan pada awal pergerakan benda dibanding pada pergerakan selanjutnya. Akhirnya, nilai percepatan gravitasi bumi yang digunakan

pada perhitungan secara teori adalah 10 m/s². Jika digunakan nilai yang lebih kecil dari nilai ini tentu akan memberikan nilai percepatan teoritis yang lebih kecil pula dan berakibat nilai kesalahan relatif terhadap nilai yang diperoleh dengan alat akan semakin besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kemenristek Dikti yang telah memberikan dana penelitian melalui DPRM Dikti dengan Perjanjian/Kontrak Nomor: 106/ADD/SP2H/LT /DPRM/VIII/2017.

DAFTAR PUSTAKA

- Resnick, H., 1999, Fisika, Jilid 1, Terjemahan: P. Silaban dan E. Sucipto, Erlangga, Jakarta.
- Samsul, 2015, Rancang Bangun Penentu Kecepatan Dan Percepatan Benda Berbasis Mikrokontroler Arduino Untuk Percobaan Benda Menggelinding Pada Bidang Miring, Skripsi S1, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Tadulako.
- Sesa, E., Fitriany, 2006, Alat Percobaan Penentu Percepatan Gravitasi Bumi Berbasis Komputer, Prosiding : Edisi Khusus Jurnal Gravitasi, Jurusan Fisika FMIPA UNTAD, Palu.
- Sumah, A., 1994, Penuntun Praktikum Fisika Dasar I, Laboratorium Fisika Dasar Fakultas MIPA, Teknik, Pertanian dan Kedokteran Umum, Universitas Hasanuddin.